

DIALOG(R)File 352:Derwent WPI  
(c) 2002 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

014040610 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 2001-524823/200158

XRAM Acc No: C01-156744

XRPX Acc No: N01-389000

Thin film transistor manufacturing method involves etching silicon oxide layer on polycrystalline silicon film formed on substrate to make silicon crystals in silicon film regrow

Patent Assignee: FUJITSU LTD (FUIT )

Number of Countries: 002 Number of Patents: 002

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 2001060551	A	20010306	JP 99232546	A	19990819	200158 B
KR 2001039810	A	20010515	KR 200046591	A	20000811	200167

Priority Applications (No Type Date): JP 99232546 A 19990819

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 2001060551	A		10	H01L-021/20	
KR 2001039810	A			H01L-021/20	

Abstract (Basic): JP 2001060551 A

NOVELTY - A polycrystalline silicon layer (3a) is formed over the surface of a substrate (1). A silicon oxide layer (5) is then laid over the layer (3a). The silicon oxide layer is etched so as to impart energy to layer (3a) for regrowth of silicon crystals.

USE - For e.g. thin film transistor.

ADVANTAGE - Minute transistor is reliably formed, with the use of polycrystalline silicon film.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows the sectional view of thin film transistor manufacturing method. (Drawing includes non-English language text).

Substrate (1)

Polycrystalline silicon layer (3a)

Silicon oxide layer (5)

pp; 10 DwgNo 1/8

Title Terms: THIN; FILM; TRANSISTOR; MANUFACTURE; METHOD; ETCH; SILICON;  
OXIDE; LAYER; POLYCRYSTALLINE; SILICON; FILM; FORMING; SUBSTRATE; SILICON  
; CRYSTAL; SILICON; FILM

Derwent Class: L03; U11

International Patent Class (Main): H01L-021/20

International Patent Class (Additional): H01L-021/336; H01L-029/786

File Segment: CPI; EPI

DIALOG(R)File 347:JAPIO  
(c) 2002 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

06833057    \*\*Image available\*\*  
MANUFACTURE OF SEMICONDUCTOR DEVICE

PUB. NO. :        2001-060551 [JP 2001060551 A]  
PUBLISHED:        March 06, 2001 (20010306)  
INVENTOR(s):      MISHIMA YASUYOSHI  
                    SUGA KATSUYUKI  
                    TAKEI MICHIKO  
                    HARA AKITO  
APPLICANT(s):     FUJITSU LTD  
APPL. NO. :        11-232546 [JP 99232546]  
FILED:             August 19, 1999 (19990819)  
INTL CLASS:        H01L-021/20; H01L-029/786; H01L-021/336

#### ABSTRACT

PROBLEM TO BE SOLVED: To form a polycrystalline silicon film, having a less rugged surface by heat-treating a polycrystalline silicon layer formed on a substrate for flattening, after a silicon oxide formed on the silicon layer is removed.

SOLUTION: An SiO<sub>2</sub> film 2 is formed on the surface of a glass substrate 1, and an amorphous silicon layer 3 is formed on the film 2. Then a polycrystalline silicon film 3a is obtained by poly-crystallizing the amorphous silicon layer 3 by irradiating the layer 3 with an excimer laser beam in the atmosphere. When the film 3a is formed, projections 4 are formed along crystal grain boundaries on the surface of the film 3a, and in addition, a silicon oxide film 5 is formed on the surface of the film 3a. Therefore, the surface of the polycrystalline silicon film 3a is exposed by etching off the silicon oxide film 5. Then the average surface ruggedness of the film 3a is reduced to a half or less by quickly setting up the substrate 1 in a vacuum device and performing a prescribed heat treatment on the film 3a after evacuating the device to a prescribed vacuum pressure.

COPYRIGHT: (C)2001, JPO

?

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-60551

(P2001-60551A)

(43) 公開日 平成13年3月6日 (2001.3.6)

(51) IntCl<sup>7</sup>

識別記号

F I

テームコード (参考)

H 0 1 L 21/20

H 0 1 L 21/20

5 F 0 5 2

29/786

29/78

6 2 7 G 5 F 1 1 0

21/336

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号

特願平11-232546

(22) 出願日

平成11年8月19日 (1999.8.19)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72) 発明者 三島 康由

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 菅 勝行

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100091340

弁理士 高橋 敬四郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置の製造方法

(57) 【要約】

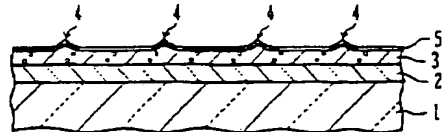
【課題】 表面の凹凸の少ない多結晶シリコン膜を形成することが可能な半導体装置の製造方法を提供する。

【解決手段】 下地基板の表面上に多結晶シリコンからなる第1の層を形成する。第1の層の表面を、酸化シリコンをエッチングする環境下に置く。第1の層の表面が酸化シリコン膜で覆われている場合には、その酸化シリコン膜が除去される。第1の層に、シリコン結晶の再成長が起こるエネルギーを与える。第1の層内でシリコンの固相成長が起こり、表面が平坦化される。

(A)



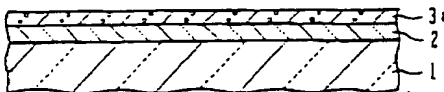
(B)



(C)



(D)



1: ガラス基板

2: SiO<sub>2</sub>膜

3: アモルファスシリコン膜

3a: 多結晶シリコン膜

4: 突起

5: 酸化シリコン膜

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 下地基板の表面上に多結晶シリコンからなる第1の層を形成する工程と、

前記第1の層の表面を、酸化シリコンをエッチングする環境下に置き、該第1の層の表面が酸化シリコン膜で覆われている場合には、その酸化シリコン膜を除去する工程と、

前記第1の層に、シリコン結晶の再成長が起こるエネルギーを与える工程とを有する半導体装置の製造方法。

【請求項2】 前記第1の層を形成する工程が、前記下地基板の表面上にアモルファスシリコンもしくは多結晶シリコンからなる第2の層を形成する工程と、前記第2の層に第1のレーザを照射して多結晶シリコンからなる前記第1の層に変化させる工程とを含む請求項1に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項3】 前記第1のレーザを照射する工程において、酸化性雰囲気中で前記第1のレーザを照射する請求項2に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項4】 前記第2の層を形成した後、前記第1のレーザを照射する前に、さらに、前記第2の層の表面を酸化シリコン膜で覆う工程を含む請求項2に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項5】 前記第1の層を形成する工程の後、前記酸化シリコンをエッチングする環境下に置く前に、前記第1の層の表面を酸化する工程を含む請求項1～4のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項6】 前記第1の層に、シリコン結晶の再成長が起こるエネルギーを与える工程において、真空中または不活性ガス中で前記第1の層にエネルギーを与える請求項1～5のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項7】 前記第1の層にシリコン結晶の再成長が起こるエネルギーを与える工程が、前記第1の層に、第2のレーザを照射する工程を含み、該第2のレーザを照射する時の第1の層の表面の単位面積あたりに供給される酸素量が、前記第1のレーザを照射する時の前記第2の層の表面の単位面積あたりに供給される酸素量よりも少ない条件で該第2のレーザ照射を行う請求項2～4のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体装置の製造方法に関し、特に多結晶シリコン膜を用いた半導体装置の製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 多結晶シリコン膜を用いた薄膜トランジスタ（TFT）の製造方法について説明する。ガラス基板上に、化学気相成長により、アモルファスシリコン膜を形成する。このアモルファスシリコン膜にエキシマレーザを照射し、多結晶化させる。レーザ照射による多結

晶化は、ガラス基板の歪点以下の温度で行うことができるため、高価な石英基板を用いる必要がないという利点を有する。

【0003】 多結晶化されたシリコン膜の上に、厚さ100～150nmのゲート絶縁膜を形成する。その上に、ゲート電極となる金属膜を形成する。金属膜とゲート絶縁膜をパターニングし、ソース及びドレイン領域となる多結晶シリコン膜を露出させる。露出した多結晶シリコン膜に不純物をドーピングすることにより、ソース及びドレイン領域を形成する。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 エキシマレーザを用いて多結晶化を行うと、多結晶シリコン膜の結晶粒界に沿って突起が形成される。この突起は、石英基板上のアモルファスシリコン膜を電気炉で加熱して多結晶化する場合に形成される突起に比べて、高くなる。このため、多結晶シリコン膜の表面に比較的大きな凹凸が形成される。

【0005】 多結晶シリコン膜の表面に大きな凹凸が形成されていると、その上に薄いゲート絶縁膜を形成することが困難になる。また、突起の先端に電界が集中し絶縁破壊が起こりやすくなる。さらに、多結晶シリコン膜の表面の凹凸は、微細化の妨げになる。

【0006】 本発明の目的は、表面の凹凸の少ない多結晶シリコン膜を形成することが可能な半導体装置の製造方法を提供することである。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】 本発明の一観点によると、下地基板の表面上に多結晶シリコンからなる第1の層を形成する工程と、前記第1の層の表面を、酸化シリコンをエッチングする環境下に置き、該第1の層の表面が酸化シリコン膜で覆われている場合には、その酸化シリコン膜を除去する工程と、前記第1の層に、シリコン結晶の再成長が起こるエネルギーを与える工程とを有する半導体装置の製造方法が提供される。

【0008】 酸化シリコン膜を除去してシリコン結晶の再成長を起こすと、第1の層の表面平均凹凸を小さくすることができる。

## 【0009】

【発明の実施の形態】 図1を参照して、本発明の第1の実施例による多結晶シリコン膜の形成方法について説明する。

【0010】 図1（A）に示すように、ガラス基板1の表面上に化学気相成長（CVD）により厚さ200nmのSiO<sub>2</sub>膜2を形成する。なお、SiO<sub>2</sub>膜2の代わりにSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜を形成してもよいし、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>とSiO<sub>2</sub>との2層膜を形成してもよい。SiO<sub>2</sub>膜2の上に、プラズマ励起型化学気相成長（PECVD）により厚さ50nmのアモルファスシリコン膜3を形成する。

【0011】 図1（B）に示すように、大気中で、アモ

ルファスシリコン膜3にXeClエキシマレーザを照射して多結晶化させることにより、多結晶シリコン膜3aを得る。エキシマレーザのビーム断面形状は幅1.2mmの帯状であり、一ショットの時間幅(パルス幅)は40nsである。この帯状の照射領域を、一ショットごとに、その長軸に直交する方向に移動させ、基板全面を走査する。あるショットの照射領域と次のショットの照射領域との重なった部分の割合(オーバーラップ率)が、一ショットの照射領域の92~99%程度になるように、照射領域を移動させる。エキシマレーザのエネルギー密度は、例えば300~500mJ/cm<sup>2</sup>である。

【0012】多結晶シリコン膜3aの表面に、結晶粒界に沿った突起4が形成される。原子間力顕微鏡(AFM)により測定した表面平均凹凸(RMS)は約14nmであった。また、アモルファスシリコン膜3の厚さ50nmを上回る高さの突起も観測された。

【0013】また、酸素の存在する雰囲気中で熱処理を行ったため、多結晶シリコン膜3aの表面が酸化され、酸化シリコン膜5が形成される。

【0014】図1(C)に示すように、フッ酸系のエッチング液を用いて酸化シリコン膜5を除去する。多結晶シリコン膜3aの表面が露出する。酸化シリコン膜5を除去した後の多結晶シリコン膜3aの表面平均凹凸は、約12nmであった。なお、フッ素系ガスを用いたドライエッチングにより酸化シリコン膜を除去してもよい。

【0015】図1(D)の状態に至るまでの工程を説明する。酸化シリコン膜5を除去した後、基板を素早く真空装置内に設置し、圧力が $1 \times 10^{-7}$ Torrになるまで真空排気する。温度550℃で2時間の熱処理を行う。熱処理後の多結晶シリコン膜3aの表面平均凹凸は約6nmであった。

【0016】上述のように、酸化シリコン膜5を除去した後、平坦化のための熱処理を行うことにより、多結晶シリコン膜3aの表面平均凹凸を小さくすることができる。なお、図1(C)に示す工程で行った酸化シリコン膜5の除去を行うことなく、平坦化熱処理を行った場合には、平坦化の効果は小さかった。これは、多結晶シリコン膜の表面が酸化シリコン膜で覆われていると、熱処理期間中のシリコン原子の移動が起こりにくいためと考えられる。上記実施例では、酸化シリコン膜5を除去した後、基板を素早く真空装置内に設置したが、基板を大気に曝すことなく平坦化のための熱処理を行うことがより好ましい。

【0017】上記実施例では、平坦化の熱処理を、圧力 $1 \times 10^{-7}$ Torr、温度550℃の条件で行った。この熱処理時の圧力を $1 \times 10^{-5}$ Torrにした場合には、温度550℃では平坦化がほとんど進まなかった。圧力 $1 \times 10^{-5}$ Torrの条件で温度を580℃まで上げると、第1の実施例の場合と同等の平坦化を行うことができた。

【0018】上記第1の実施例では、図1(D)で説明した平坦化の熱処理を、真空装置内で行った。真空装置による熱処理の代わりにランプ加熱法を適用したところ、凹凸の低減量は少ないものの、表面平均凹凸の低減が見られた。

【0019】次に、第2の実施例による多結晶シリコン膜の形成方法について説明する。上記第1の実施例で説明したように、図1(B)に示す多結晶化直後の多結晶シリコン膜3aの表面平均凹凸が約12nmであり、図1(B)に示す酸化シリコン膜5を除去した直後の多結晶シリコン膜3aの表面平均凹凸が約10nmであった。このように、酸化シリコン膜5を除去しただけで、表面平均凹凸がやや小さくなっている。これは、突起の先端部近傍が酸化されやすく、その部分の酸化シリコン膜が他の部分に比べて厚いためと考えられる。第2の実施例では、この現象を積極的に利用する。

【0020】第1の実施例では、図1(B)に示す酸化シリコン膜5が形成された後、図1(C)に示す工程で酸化シリコン膜5を除去した。第2の実施例では、図1(B)に示す多結晶化後に、多結晶シリコン膜3aの表面を積極的に酸化する。この酸化は、例えば多結晶シリコン膜5の表面を酸素プラズマに晒すことにより行う。このとき、図1(B)に示す突起4の先端部近傍が優先的に酸化されると考えられる。

【0021】酸素プラズマ処理後、CHF<sub>3</sub>をもちいたドライエッチングにより酸化シリコン膜を除去する。なお、第1の実施例の酸化シリコン膜除去と同様に、フッ酸系のエッチャントを用いたウェットエッチングにより酸化シリコン膜を除去してもよい。その後、第1の実施例の図1(D)の工程と同様の平坦化のための熱処理を行う。

【0022】第2の実施例による方法で形成された多結晶シリコン膜の表面平均凹凸は、約5nmであった。第1の実施例の場合に比べて、表面平均凹凸がより小さくなっていることがわかる。

【0023】多結晶シリコン膜を用いてTFEを形成する場合、例えば、多結晶シリコン膜が幅数μmの帯状にパターンニングされる。エキシマレーザ照射による多結晶化を行ったシリコン膜(表面平均凹凸12nm)を、幅3μmの帯状にパターンニングしたところ、シリコンパターンの縁がぎざぎざになった。このぎざぎざは、TFEの微細化の妨げになる。また、シリコン膜の表面の凹凸が、エッチング特性に影響を与え、エッチング残渣が生じやすくなる。これに対し、第2の実施例による方法で作製した多結晶シリコン膜を幅3μmの帯状にパターンニングしたところ、その縁は滑らかになった。このため、TFEの微細化を図ることが可能になる。

【0024】上記第1の実施例では、図1(B)の工程で説明したように、エキシマレーザ照射によりアモルファスシリコン膜の多結晶化を行った。レーザ照射の代わ

りに、真空装置内で熱処理することにより多結晶化したシリコン膜の表面平均凹凸は、レーザ照射で多結晶化したシリコン膜の表面平均凹凸に比べて少ない。真空装置内で熱処理することにより多結晶化したシリコン膜の表面平均凹凸は、約4 nmであった。この場合にも、第1の実施例の図1 (C) に示す工程で行った酸化シリコン膜の除去、及び図1 (D) に示す工程で行った平坦化のための熱処理を行うことにより、表面平均凹凸が低減することがわかった。

【0025】例えば、石英基板上にアモルファスシリコン膜を形成し、600℃程度の高温熱処理で多結晶化したシリコン膜を平坦化したところ、表面平均凹凸が約3.8 nmになった。また、ガラス基板上にNi含有のアモルファスシリコン膜を形成し、550℃程度の低温熱処理で多結晶化したシリコン膜を平坦化したところ、表面平均凹凸が約3.5 nmになった。

【0026】次に、図1及び図2を参照して、本発明の第3の実施例による多結晶シリコン膜の形成方法について説明する。上記第1の実施例では、図1 (B) の工程で説明したように、大気中でレーザ照射を行ってシリコン膜を多結晶化し、図1 (D) の工程で説明したように、真空装置内で基板加熱することにより多結晶シリコン膜の表面の平坦化を行った。第3の実施例では、多結晶化の処理のみならず平坦化の処理もレーザ照射により行う。すなわち、アモルファスシリコンを多結晶化するためのレーザ照射（1回目のレーザ照射）を行い、次に、多結晶シリコン膜を平坦化するためのレーザ照射（2回目のレーザ照射）を行う。

【0027】第3の実施例による半導体装置の製造工程を第1の実施例による製造工程と比較すると、第1の実施例の図1 (C) で説明した酸化シリコン膜5の除去工程までが共通である。第3の実施例では、図1 (C) に示す多結晶シリコン膜3aにエキシマレーザを照射して表面の平坦化を行う。なお、第2回目のレーザ照射は、圧力 $1 \times 10^{-1}$  Pa、オーバーラップ率95%の条件で行った。また、図1 (B) に示す酸化シリコン膜5を除去した後、基板を大気に曝すことなく第2回目のレーザ照射を行うことが好ましい。

【0028】図2を参照して、1回目のレーザ照射の条件について説明する。図2の横軸は、1回目のレーザ照射のレーザエネルギー密度を単位 $\text{mJ}/\text{cm}^2$ で表し、縦軸は、表面平均凹凸を単位nmで表す。

【0029】図2中の黒丸は、パルス幅40 ns、帯状照射領域の幅1.2 mm、オーバーラップ率96%の条件でXeClエキシマレーザを照射して多結晶化した多結晶シリコン膜の表面平均凹凸を表す。図中の白丸は、圧力 $1 \times 10^{-3}$  Paの真空中でレーザ照射を行って得られた多結晶シリコン膜の表面平均凹凸を表す。

【0030】大気中でレーザ照射を行う場合には、エネルギー密度が $400 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ のときに表面平均凹凸が

最大になり、その値は約12 nmにも達する。これに対し、真空中でレーザ照射を行う場合には、表面平均凹凸は5 nm以下である。両者を走査型電子顕微鏡で観察したところ、大気中でレーザ照射を行ったシリコン膜の平均結晶粒径が約 $0.5 \mu\text{m}$ であるのに対し、真空中でレーザ照射を行ったシリコン膜の平均結晶粒径は、 $0.25 \mu\text{m}$ 以下であった。大気中でレーザ照射を行ったシリコン膜の表面の突起は、結晶粒界に沿って形成されていた。

【0031】真空中で第1回目のレーザ照射を行うことにより、表面平均凹凸の小さな多結晶シリコン膜が得られるが、この膜は、平均結晶粒径が小さい。平均結晶粒径の小さなシリコン膜では、十分な特性のTFTを得ることが困難である。

【0032】図3に、第3の実施例による方法で形成した多結晶シリコン膜の表面平均凹凸を、参考例と比較して示す。図3の横軸は、レーザエネルギー密度を単位 $\text{mJ}/\text{cm}^2$ で表し、縦軸は、表面平均凹凸を単位nmで表す。図中の白四角が、第3の実施例による方法で形成した多結晶シリコン膜の表面平均凹凸を示す。黒四角は、図1に示す酸化シリコン膜5を除去しないで第2回目のレーザ照射を行った場合を示す。横軸のレーザエネルギー密度は、第2回目のレーザ照射のエネルギー密度に相当する。なお、第1回目のレーザ照射のエネルギー密度は、 $400 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ である。

【0033】図3に記載された破線は、図2の黒丸で表した表面平均凹凸を示す。この場合の横軸は、第1回目のレーザ照射のエネルギー密度に相当する。

【0034】酸化シリコン膜の除去を行わないで第2回目のレーザ照射を行った場合、黒四角で示すように、レーザエネルギー密度が $400 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 以下の範囲では、表面平均凹凸の低減はほとんど見られなかった。レーザエネルギー密度が $400 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 以上の範囲では、表面平均凹凸の低減が見られたが、得られた多結晶シリコン膜の表面平均凹凸は、多結晶化のためのレーザ照射のみを、 $400 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 以上のエネルギー密度で行った場合と同等であった。

【0035】これに対し、第3の実施例の場合には、白四角で示すように、第2回目のレーザ照射により、表面平均凹凸の低減が見られた。特に、第2回目のレーザ照射時のエネルギー密度を $400 \sim 480 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ としたときに、表面平均凹凸が4 nm以下になる。これは、真空炉加熱による固相成長で多結晶化したシリコン膜の表面平均凹凸と同程度である。

【0036】第3の実施例による方法で形成された多結晶シリコン膜を走査型電子顕微鏡で分析した。第3の実施例による方法で形成された多結晶シリコン膜の結晶粒径は、第1回目のレーザ照射後の平均結晶粒径と同程度かやや拡大していることがわかった。また、結晶粒界に沿って形成されていた突起は、ほぼ消滅していた。

【0037】第1回目のレーザー照射は、表面平均凹凸の大きくなるエネルギー密度で行うことが好ましい。このとき、結晶粒径の大きな多結晶シリコン膜が得られる。例えば、表面平均凹凸が5 nm以上になる条件で第1回目のレーザー照射を行うことが好ましい。また、第2回目のレーザー照射は、第1回目のレーザー照射のエネルギー密度よりも大きなエネルギー密度で行うことが好ましい。これにより、多結晶シリコン膜の表面平均凹凸の低減効果を高めることができる。なお、第2回目のレーザー照射のエネルギー密度を高くしすぎると、シリコン膜の微結晶化が進む。このため、エネルギー密度を、微結晶化が生ずる閾値以下とすることが好ましい。また、第2回目のレーザー照射時に、基板を加熱してもよい。基板加熱を行うことにより、結晶の質を高めることが可能になる。

【0038】第3の実施例では、第2回目のレーザー照射時のオーバーラップ率を95%としたが、その他のオーバーラップ率としてもよい。本願発明者らの実験によると、オーバーラップ率が90%未満のときには、平坦化の効果が少ないことがわかった。従って、第2回目のレーザー照射時のオーバーラップ率を90%以上とすることが好ましい。なお、装置の制約からオーバーラップ率を90%以上にできない場合には、例えば、同一個所に2ショットの照射を行い、オーバーラップ率が80%になるように照射領域を移動させることにより、実質的にオーバーラップ率90%の場合と同様の効果を得ることができよう。

【0039】第3の実施例では、第2回目のレーザー照射時の雰囲気圧力を $1 \times 10^{-1}$  Paとしたが、その他の圧力としてもよい。

【0040】図4に、第2回目のレーザー照射時の雰囲気圧力と多結晶シリコン膜の表面平均凹凸との関係を示す。図4の横軸は圧力を単位Paで表し、縦軸は表面平均凹凸を単位nmで表す。圧力を大気圧から $1 \times 10^4$  Paまで低下させると、表面平均凹凸が急激に小さくなる。また、圧力が $1 \times 10^4$  Paから $1 \times 10^{-1}$  Paまでの範囲では、圧力の低下に従って、表面平均凹凸が緩やかに小さくなる。圧力が $1 \times 10^{-1}$  Pa以下になると、表面平均凹凸の低下傾向がより強くなる。

【0041】図4から、第2回目のレーザー照射時の圧力を $1 \times 10^4$  Pa以下とすることが好ましく、 $1 \times 10^{-1}$  Pa以下とすることがより好ましいことがわかる。

【0042】なお、第2回目のレーザー照射を、不活性ガス雰囲気中、例えば窒素ガス雰囲気中で行ってもよい。この場合、基板を収容した真空容器内に窒素ガスを満たす前に、圧力 $1 \times 10^4$  Pa以下に真空排気することが好ましく、圧力 $1 \times 10^{-1}$  Pa以下に真空排気することがより好ましい。

【0043】また、この結果より、第2回目のレーザー照射時の圧力を、第1回目のレーザー照射時の圧力よりも低くすることによって、多結晶シリコン膜の平坦化を行え

ることがわかる。つまり、第1回目のレーザー照射時の圧力を $1 \times 10^2$  Paとし、第2回目のレーザー照射時の圧力を $1 \times 10^{-3}$  Paとしてもよいのである。これは、圧力が低下することによって酸素分圧が低下することが原因と考えられる。

【0044】すなわち、レーザー照射時の全圧が重要なのではなく、レーザー照射時の雰囲気中の酸素分圧、もしくはシリコン膜表面の単位面積あたりに供給される酸素量が重要であると考えられる。いいかえると、第2回目のレーザー照射時の酸素分圧もしくはシリコン膜表面の単位面積あたりに供給される酸素量を、第1回目のレーザー照射時におけるそれよりも少なくすることにより、シリコン膜表面を平坦化することが可能になる。

【0045】1回目のレーザー照射を圧力 $1 \times 10^{-2}$  Paの雰囲気中で行った後、 $1 \times 10^{-3}$  Paまで真空排気し、窒素で置換して圧力を $1 \times 10^5$  Paとする場合を考える。このとき、2回目のレーザー照射時の雰囲気圧力が1回目のレーザー照射時のそれよりも高くなる。しかし、酸素分圧に着目すると、2回目のレーザー照射時の方が1回目のレーザー照射時のそれよりも低い。このため、シリコン膜の平坦化を行うことが可能である。

【0046】次に、1回目のレーザー照射時にシリコン膜の表面上に酸化シリコン膜が形成されている場合を考える。1回目のレーザー照射時の圧力を $1 \times 10^{-3}$  Paとし、2回目のレーザー照射時の圧力を $1 \times 10^{-1}$  Paとする。酸素分圧に着目すると、第2回目のレーザー照射時の方が第1回目のレーザー照射時よりも高い。ところが、第1回目のレーザー照射時には、シリコン膜表面に酸化シリコン膜が形成されているため、シリコン膜表面の単位面積あたりに供給される酸素量に着目すると、第2回目のレーザー照射時の方が第1回目のレーザー照射時よりも少なくなる。このため、シリコン膜の平坦化を行うことが可能になる。

【0047】酸化シリコン膜を除去した後、大気中で第2回目のレーザー照射を行った場合には、平坦化の効果がみられなかった。このことから、第2回目のレーザー照射を、非酸化性雰囲気中で行うことが好ましいことがわかる。

【0048】次に、第4の実施例による多結晶シリコン膜の製造方法について説明する。上記第3の実施例では、第1回目のレーザー照射を大気中で行うことにより、平均結晶粒径の大きな多結晶シリコン膜を形成した。真空中で第1回目のレーザー照射を行う場合に比べて平均結晶粒径が大きくなるのは、シリコン膜の表面が酸化膜で覆われているためか、大気中に存在する酸素の影響であると考えられる。

【0049】大気中で第1回目のレーザー照射を行う場合には、レーザー照射時の雰囲気、例えば湿度や気温によりシリコン膜表面の酸化シリコン膜の状態が変化し、形成される多結晶シリコン膜の状態、例えば結晶粒径等が変

化してしまう可能性がある。第4の実施例では、第1回目のレーザ照射時の雰囲気の影響を受けにくい多結晶シリコン膜の形成方法が提供される。

【0050】以下、図1を参照し、第1の実施例による多結晶シリコン膜の形成方法と比較しながら、第4の実施例を説明する。図1(A)に示すアモルファスシリコン膜3を形成した後、表面の酸化シリコン膜を除去する。酸化シリコン膜の除去後、アモルファスシリコン膜3の表面上に、一定の厚さの酸化シリコン膜を形成する。酸化シリコン膜の形成は、酸素雰囲気中で熱処理する方法、紫外線を照射する方法、酸素プラズマに曝す方法、化学気相成長(CVD)やスパッタリングにより酸化シリコン膜を堆積する方法等により行うことができる。

【0051】アモルファスシリコン膜表面に酸化シリコン膜を形成した後、第1回目のレーザ照射を行い、アモルファスシリコン膜を多結晶化させる。第1回目のレーザ照射は、真空中または不活性ガス中で行う。図1

(B)に示す多結晶シリコン膜3aが形成される。これ以降の工程は、上記第3の実施例の場合と同様である。

【0052】図5に、アモルファスシリコン膜3の表面上に形成する酸化シリコン膜の厚さを変化させたときの結晶化度を、第1回目のレーザ照射のエネルギー密度の関数として示す。横軸はエネルギー密度を単位 $\text{mJ}/\text{cm}^2$ で表し、縦軸は結晶化度を単位%で表す。結晶化度は、シリコン膜に紫外線を照射したときの波長280nmの位置に現れる反射光のピークの高さによって評価した。なお、単結晶シリコンウエハを測定したときのピークの高さを結晶化度100%とした。図中の白丸は酸化シリコン膜を形成しない場合、黒丸及び黒四角は、それぞれ酸化シリコン膜の厚さが1nm及び10nmの場合を示す。

【0053】酸化膜の厚さが10nmのとき、レーザエネルギー密度が $340\text{mJ}/\text{cm}^2$ を超えると、結晶化度が急激に低下する。このため、アモルファスシリコン膜の表面に形成する酸化シリコン膜の厚さを10nmよりも薄くすることが好ましい。

【0054】第4の実施例では、第1回目のレーザ照射の前に、アモルファスシリコン膜の表面が酸化シリコン膜で覆われている。このため、多結晶シリコン膜の膜質が、第1回目のレーザ照射時の雰囲気の影響を受けにくい。

【0055】第4の実施例では、第1回目のレーザ照射を行う前に酸化シリコン膜を形成したが、レーザ照射前に酸化シリコン膜を形成する代わりに、第1回目のレーザ照射時の雰囲気を制御することによっても、多結晶シリコン膜の膜質を安定化させることができるであろう。例えば、アモルファスシリコン膜の表面に形成されている酸化シリコン膜を除去した後、基板を真空容器内に配置し、酸素ガスの流量を制御しながらレーザ照射を行っ

てもよい。また、酸素ガスと不活性ガスとを、両者の流量比を制御しながら流してもよいであろう。

【0056】また、不活性ガス中で基板加熱を行いながら第1回目のレーザ照射を行ったところ、第4の実施例の場合と同様の結晶粒径を有する多結晶シリコン膜を形成することができた。これは、基板加熱を行うことによって真空容器が加熱され、真空容器の壁に吸着されていた水分や酸素が容器内に放出されたため、または基板加熱の効果によって結晶粒径が大きくなったためと考えられる。

【0057】上記第1～第4の実施例では、第1回目のレーザ照射のエネルギー密度を $400\text{mJ}/\text{cm}^2$ としたが、結晶化度が大きくなる条件であれば、その他のエネルギー密度のレーザを照射してもよい。例えば、第1回目のレーザ照射のエネルギー密度の好適な範囲は $360\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上である。なお、エネルギー密度を高くしすぎると、結晶化度は高くなるが微結晶化が生ずる。微結晶化が生ずると、シリコン膜にダメージが残ってしまうため、エネルギー密度を微結晶化が生ずる閾値以下とすることが好ましい。本願発明者らの実験によると、エネルギー密度を $450\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上にしたときに微結晶化が生じた。なお、好適なレーザエネルギー密度は、使用するレーザのパルス幅、ビームプロファイル、基板加熱の有無等によって変化する。

【0058】上記第3の実施例では、第1回目のレーザ照射時のオーバーラップ率を95%とした。シリコン膜表面の一箇所に照射される回数が100回を超えると、膜表面の粗さが大きくなり、膜の受けるダメージも大きくなる。このため、1回目のレーザ照射時のオーバーラップ率を99%以下とすることが好ましい。なお、第2回目のレーザ照射時にはオーバーラップ率を99%以上にしてもシリコン膜がダメージを受けることはなかった。

【0059】次に、上記第1～第4の実施例による方法で作製した多結晶シリコン膜を用いてTFTを作製する方法を説明する。

【0060】図6(A)に示すように、ガラス基板1の表面上に、厚さ200nmの $\text{SiO}_2$ 膜2及び厚さ50nmの多結晶シリコン膜3aが形成されている。ここまでの製造工程は、図1(A)から図1(D)に示す製造工程と同様である。多結晶シリコン膜3aは、第1～第4の実施例のいずれかの方法で形成される。

【0061】図6(B)に示すように、シリコン膜3aをパターニングして、多結晶シリコン薄膜の活性領域3cを残す。多結晶シリコン膜のエッチングは、 $\text{CF}_4$ と $\text{O}_2$ との混合ガスを用いた反応性イオンエッチング(RIE)により行う。活性領域3cを覆うように、 $\text{SiO}_2$ 膜2の上に $\text{SiO}_2$ からなる厚さ120nmのゲート絶縁膜14を形成する。ゲート絶縁膜14の形成は、 $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いたプラズマ励起型化学気相成長(PECVD)により行う。

【0062】ゲート絶縁膜14の表面のうち、活性領域3cの上方の一部の領域上に、AlSi合金からなる厚さ300nmのゲート電極15を形成する。ゲート電極15のSi濃度は0.2重量%である。AlSi合金膜の堆積は、スパッタリングにより行い、AlSi合金膜のエッチングは、リン酸系のエッチャントを用いて行う。

【0063】図7(A)に示すように、ゲート絶縁膜14をパターニングし、ゲート絶縁膜14aを残す。ゲート絶縁膜14のエッチングは、 $\text{CHF}_3$ と $\text{O}_2$ との混合ガスを用いたRIEにより行う。ゲート絶縁膜14aは、ゲート電極15の両側に約1 $\mu\text{m}$ 程度張り出している。ゲート絶縁膜14aの両側には、活性領域3cが張り出している。

【0064】図7(A)では、ゲート電極15とゲート絶縁膜14aとの位置合わせを、通常のフォトリソグラフィ技術を用いて行うが、自己整合的に両者の位置合わせを行ってもよい。例えば、特開平8-332602号公報に開示されているAlゲート電極の陽極酸化を利用して、ゲート絶縁膜14aの張り出し部分を自己整合的に形成することができる。

【0065】イオンドーピング法により、活性領域3cのうちゲート絶縁膜14aの両側に張り出した部分にリンイオンを注入する。このイオンドーピングは、ゲート絶縁膜14aに覆われている部分にリンイオンが注入されない条件で行う。

【0066】図7(B)に示すように、イオンドーピング法により2回目のリンイオンの注入を行う。このイオンドーピングは、ゲート絶縁膜14aのうちゲート電極15の両側に張り出した部分の下方までリンイオンが到達する条件で行う。エキシマレーザアニールを行い、注入されたPを活性化させる。ゲート絶縁膜14aのうちゲート電極15の両側に張り出した部分の下方に、ソース低濃度領域11S及びドレイン低濃度領域11Dが形成される。さらにその外側に、ソース高濃度領域10S及びドレイン高濃度領域10Dが形成される。

【0067】図8は、図7(B)に示したTFTを適用したアクティブマトリクス型液晶表示装置の断面図を示す。ガラス基板1の上に $\text{SiO}_2$ 膜2が形成され、その表面上にTFT20が形成されている。

【0068】TFT20を覆うように、 $\text{SiO}_2$ 膜2の上に、厚さ400nmの $\text{SiO}_2$ 膜30が形成されている。 $\text{SiO}_2$ 膜30は、例えばPE-CVDにより形成される。 $\text{SiO}_2$ 膜30の、ドレイン高濃度領域10D及びソース高濃度領域10Sに対応する位置に、それぞれコンタクトホール31及び32が形成されている。コンタクトホール31及び32の形成は、例えば $\text{CHF}_3$ と $\text{O}_2$ との混合ガスを用いたRIEにより行う。

【0069】 $\text{SiO}_2$ 膜30の表面上に、ドレインバスライン33が形成されている。ドレインバスライン33

は、コンタクトホール31内を経由してドレイン高濃度領域10Dに接続されている。ドレインバスライン33は、厚さ50nmのTi膜と厚さ200nmのAlSi合金膜との2層構造を有する。

【0070】 $\text{SiO}_2$ 膜30の表面上の、コンタクトホール32に対応する位置に、接続電極34が形成されている。接続電極34は、ソース高濃度領域10Sに接続されている。

【0071】 $\text{SiO}_2$ 膜30の上に、ドレインバスライン33及び接続電極34を覆うように、 $\text{SiN}$ 膜35が形成されている。 $\text{SiN}$ 膜35の表面上に、インジウム錫オキサイド(ITO)からなる画素電極36が形成されている。画素電極36は、 $\text{SiN}$ 膜35に形成されたコンタクトホールを介して接続電極34に接続されている。 $\text{SiN}$ 膜35の上に、画素電極36を覆うように配向膜37が形成されている。

【0072】ガラス基板1に対向するように、対向基板40が配置されている。対向基板40の対向面上に、ITOからなる共通電極41が形成されている。共通電極41の表面の所定の遮光すべき領域上に、遮光膜42が形成されている。共通電極41の表面上に、遮光膜42を覆うように配向膜43が形成されている。2枚の配向膜37及び43の間に、液晶材料50が充填されている。

【0073】TFT20の活性領域3cは、第1～第4の実施例による方法で形成された多結晶シリコン膜であるため、その表面平均凹凸は小さい。このため、TFT20の微細化を図ることが可能になるとともに、電界の集中によるゲート絶縁膜の絶縁破壊を防止することができる。

【0074】以上実施例に沿って本発明を説明したが、本発明はこれらに制限されるものではない。例えば、種々の変更、改良、組み合わせ等が可能なことは当業者に自明であろう。

【0075】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、表面平均凹凸の小さな多結晶シリコン膜を形成することが可能になる。この多結晶シリコン膜を用いて、信頼性が高く、かつ微細なTFTを形成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例による多結晶シリコン膜の作製方法を説明するための基板の断面図である。

【図2】レーザ照射により多結晶化した多結晶シリコン膜の表面平均凹凸を、レーザエネルギー密度の関数として示すグラフである。

【図3】第3の実施例による方法及び比較例による方法で作製した多結晶シリコン膜の表面平均凹凸を、第2回目のレーザ照射時のレーザエネルギー密度の関数として示すグラフである。

【図4】第3の実施例による方法で作製した多結晶シリ

コン膜の表面平均凹凸を、第2回目のレーザ照射時の雰囲気圧力の関数として示すグラフである。

【図5】第4の実施例による多結晶シリコン膜の作製時に形成されるアモルファスシリコン膜上の酸化シリコン膜の厚さを変えたときの多結晶シリコン膜の表面平均凹凸を、第1回目のレーザ照射時のエネルギー密度の関数として示すグラフである。

【図6】第1～第4の実施例による方法で作製した多結晶シリコン膜を用いてTFTを作製する方法を説明するための基板の断面図である。

【図7】第1～第4の実施例による方法で作製した多結晶シリコン膜を用いてTFTを作製する方法を説明するための基板の断面図である。

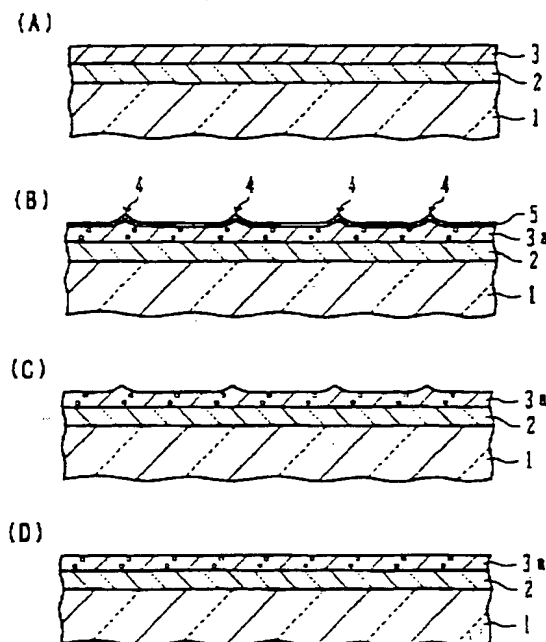
【図8】第1～第4の実施例による方法で作製した多結晶シリコン膜を適用したTFTを用いた液晶表示装置の断面図である。

【符号の説明】

- 1 ガラス基板
- 2  $\text{SiO}_2$ 膜
- 3 アモルファスシリコン膜
- 3a 多結晶シリコン膜

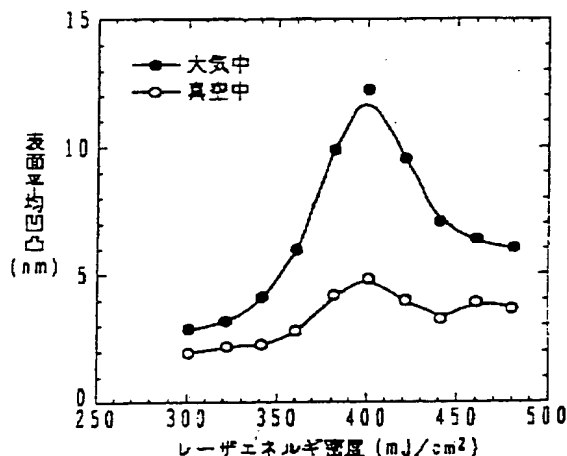
- 3c 活性領域
- 4 突起
- 5 酸化シリコン膜
- 10D ドレイン高濃度領域
- 10S ソース高濃度領域
- 11D ドレイン低濃度領域
- 11S ソース低濃度領域
- 14 ゲート絶縁膜
- 15 ゲート電極
- 20 TFT
- 30  $\text{SiO}_2$ 膜
- 31、32 コンタクトホール
- 33 ドレインバスライン
- 34 接続電極
- 35  $\text{SiN}$ 膜
- 36 画素電極
- 37、43 配向膜
- 40 対向電極
- 41 共通電極
- 42 遮光膜
- 50 液晶材料

【図1】

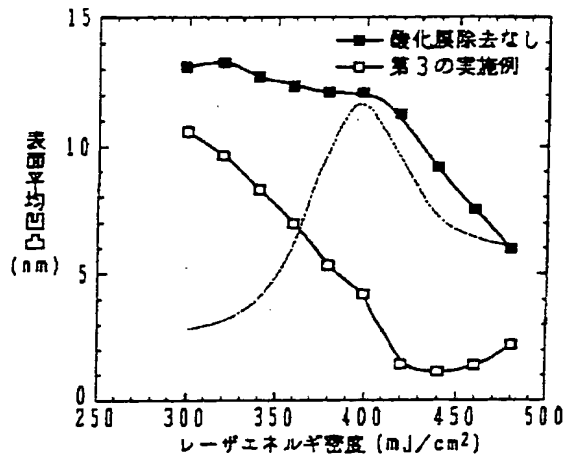


- 1: ガラス基板
- 2:  $\text{SiO}_2$ 膜
- 3: アモルファスシリコン膜
- 3a: 多結晶シリコン膜
- 4: 突起
- 5: 酸化シリコン膜

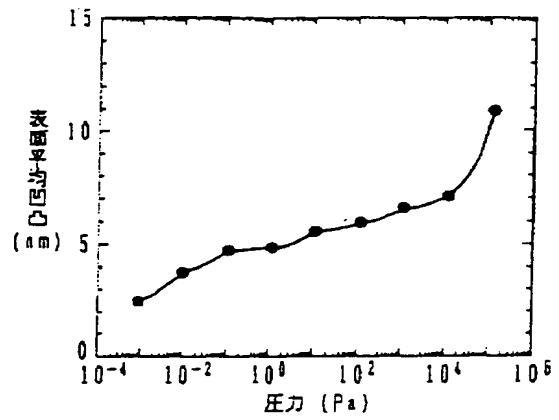
【図2】



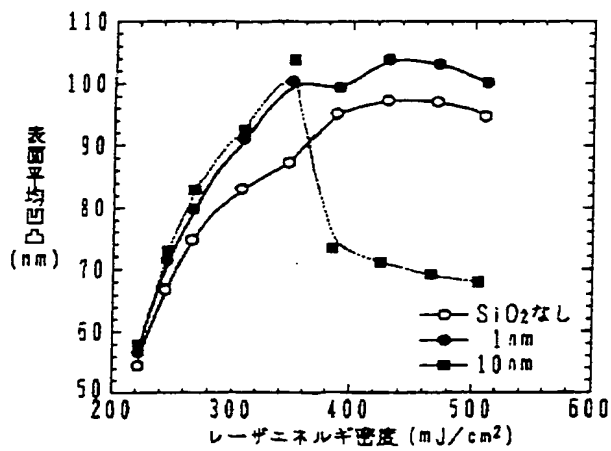
【図3】



【図4】

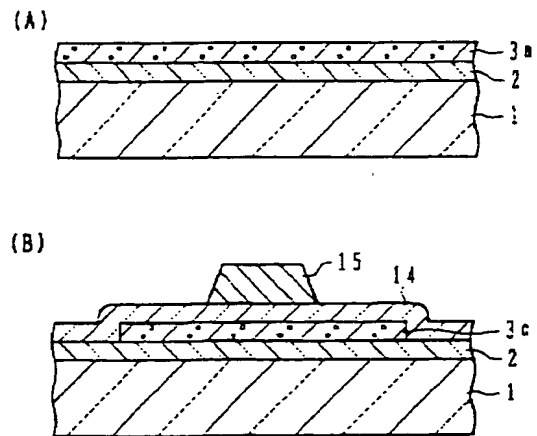


【図5】



【図6】

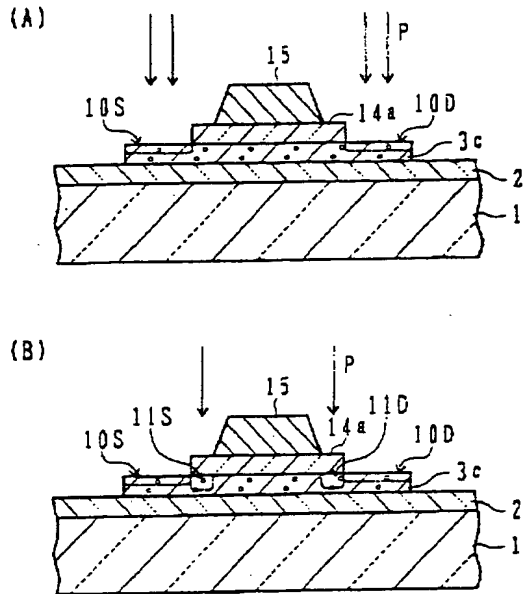
TFTの製造方法(その1)



1: ガラス基板      3c: 活性相域  
 2:  $\text{SiO}_2$ 膜      14: ゲート絶縁膜  
 3a: 多結晶シリコン膜      15: ゲート電極

【図7】

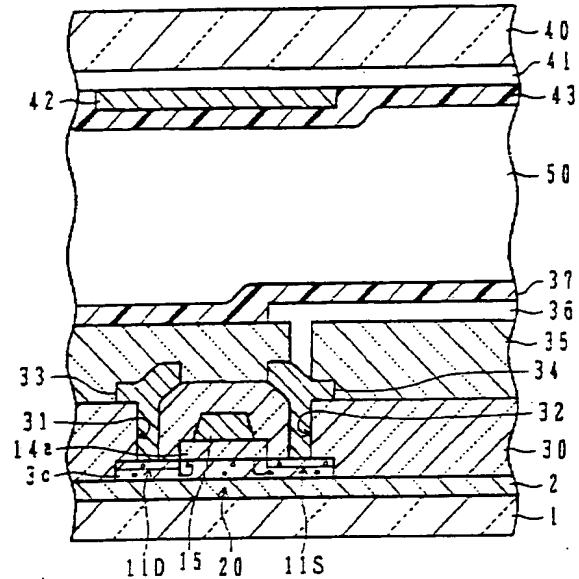
## TFTの製造方法(その2)



10D:ドレイン高濃度領域    11D:ドレイン低濃度領域  
 10S:ソース高濃度領域    11S:ソース低濃度領域

【図8】

## 液晶表示装置



20: TFT    36: 画素電極  
 30: SiO<sub>2</sub>膜    37, 43: 配向膜  
 31, 32: コンタクトホール    40: 対向基板  
 33: ドレインバスライン    41: 共通電極  
 34: 接続電極    42: 遮光膜  
 35: SiN膜    50: 液晶材料

## フロントページの続き

(72) 発明者 竹井 美智子  
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
 1号 富士通株式会社内  
 (72) 発明者 原 明人  
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
 1号 富士通株式会社内

Fターム(参考) 5F052 AA02 AA11 BA02 BA07 BB07  
 CA08 DA01 DA02 DB03 EA11  
 EA12 EA16 HA01 JA01  
 5F110 AA18 BB02 CC02 DD02 DD13  
 EE01 EE44 FF02 FF30 GG02  
 GG13 GG25 GG45 GG58 HJ01  
 HJ13 HJ23 HL01 HL04 HL11  
 HM15 NN01 NN23 NN24 NN35  
 PP03 PP05 PP06 PP10 PP13  
 PP29 PP38 QQ09 QQ10 QQ11  
 QQ19

## JAPAN PATENT LAID-OPEN

(11) Publication number: **2001-060551**

(43) Date of publication of application: **March 6, 2001**

---

(51) Int.Cl.

**H01L 21/20**  
**H01L 29/786**  
**H01L 21/336**

---

(21) Application number: **11-232546**

(71) Applicant: **FUJITSU LTD**

(22) Date of filing: **Aug.19,1999**

(72) Inventor: **MISHIMA YASUYOSHI**  
**SUGA KATSUYUKI**  
**TAKEI MICHIKO**  
**HARA AKITO**

---

(54) [Title of Invention]

**A MANUFACTURING METHOD OF SEMICONDUCTOR DEVICE**

(57) [Abstract]

[PROBLEM TO BE SOLVED] To offer a manufacturing method of semiconductor device, wherein a polycrystal silicon film having a less rugged surface can be formed.

[SOLUTION] A first layer comprising polycrystal silicon is formed on the surface of a base substrate. The surface of the first layer is put under the circumstance to etch silicon oxide. When the surface of the first layer is covered with silicon oxide, the silicon oxide film is removed. The energy to re-grow silicon crystal is given to the first layer. The solid phase growth of silicon is happened in the first layer to flatten the surface.

[Claim(s)]

[Claim 1] A manufacturing method of a semiconductor device comprises the processes of: forming a first layer comprising polycrystal silicon on the surface of a base substrate; setting the surface of the first layer under the circumstance to etch silicon oxide, and removing the silicon oxide film when the surface of the first layer is covered with silicon oxide; and giving the energy to re-grow silicon crystal to the first layer.

[Claim 2] A manufacturing method of a semiconductor device according to claim 1, wherein the process of forming the aforementioned first layer includes the processes of: forming a second layer comprising amorphous silicon or polycrystal silicon on the surface of the aforementioned base substrate; and changing to the aforementioned first layer comprising polycrystal silicon by irradiating a first laser to the aforementioned second layer.

[Claim 3] A manufacturing method of a semiconductor device according to claim 2, wherein the process of irradiating the aforementioned first laser includes the process of irradiating the aforementioned first laser in an oxidized atmosphere.

[Claim 4] A manufacturing method of a semiconductor device according to claim 2 including the process of forming the aforementioned second layer and then covering the surface of the aforementioned second layer with silicon oxide film before irradiating the aforementioned first layer.

[Claim 5] A manufacturing method of a semiconductor device according to any one of claims 1 to 4 including the process of forming the aforementioned first layer and then oxidizing the surface of the aforementioned first layer before putting under the circumstance to etch the aforementioned silicon oxide.

[Claim 6] A manufacturing method of a semiconductor device according to any one of claims 1 to 5 comprising the process of giving energy to the aforementioned first layer in a vacuum or inert gas, in the process of giving energy that re-growth of silicon crystal happens to the aforementioned first layer.

[Claim 7] A manufacturing method of a semiconductor device according to any one of claims 2 to 4, wherein the process giving energy that re-growth of silicon crystal happens to the aforementioned first layer includes the process of irradiating the second laser at the aforementioned first layer and irradiates the second laser on the conditions that the amount of oxygen supplied to per unit area of the surface of the first layer in irradiating the second laser is less than the amount of oxygen supplied to per unit area of the surface of the aforementioned second layer in irradiating the aforementioned first laser.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] This invention relates to a manufacturing method of a semiconductor device, especially a manufacturing method of a semiconductor device using polycrystal silicon films.

[0002]

[Description of the Prior Art] A manufacturing method of a thin film transistor (TFT) using a polycrystal silicon film is explained. On a glass substrate, an amorphous silicon film is formed by the chemical vapor deposition. Excimer laser is irradiated to this amorphous

silicon film to polycrystallize. Since polycrystallization by laser radiation can be performed at the temperature below the strain point of a glass substrate, it has the advantage not necessary to use an expensive quartz substrate.

[0003] On the polycrystallized silicon film, a gate insulating film with a thickness of 100 to 150 nm is formed. A metal film to be a gate electrode is formed thereon. The metal film and the gate insulating film are patterned to expose the polycrystal silicon film to use as a source and a drain regions. The source and drain regions are formed by doping an impurity into the exposed polycrystal silicon film.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] If polycrystallization is performed using an excimer laser, a projection will be formed along with a grain boundary of the polycrystal silicon film. This projection becomes higher compared with a projection formed when heating an amorphous silicon film on a quartz substrate with an electric furnace to polycrystallize. For this reason, comparatively big irregularity is formed on the surface of the polycrystal silicon film.

[0005] If big irregularity is formed on the surface of the polycrystal silicon film, it will become difficult to form a thin gate insulating film on it. Moreover, the electric field concentrates at the tip of a projection so that dielectric is easily broken down. Furthermore, the irregularity of the surface of the polycrystal silicon film hinders getting detailed.

[0006] The purpose of this invention is offering a manufacturing method of a semiconductor device which can form a polycrystal silicon film with little irregularity in the surface.

[0007]

[Means for Solving the Problem] According to one viewpoint of this invention, a manufacturing method of a semiconductor device, which comprises: a process of forming a first layer that consists of polycrystal silicon on the surface of a base substrate; a process of removing a silicon oxide film in the case of putting the surface of the first layer in an environment to etch silicon oxide and overlapping the surface of the first layer with a silicon oxide film; and a process of giving energy that re-growth of silicon crystal happens to the aforementioned first layer; is offered.

[0008] If a silicon-oxide film is removed to cause re-grow silicon crystal, the average irregularity of the surface of the first layer can be made small.

[0009]

[Embodiment Mode of the Invention] With reference to Fig. 1, a method of forming a polycrystal silicon film by the first embodiment of this invention is explained.

[0010] As shown in Fig. 1 (A), SiO<sub>2</sub> film 2 with a thickness of 200 nm is formed by the chemical vapor deposition (CVD) on the surface of a glass substrate 1. In addition, SiN film may be formed instead of SiO<sub>2</sub> film 2, and the two-layer film of SiN and SiO<sub>2</sub> may be formed. On SiO<sub>2</sub> film 2, an amorphous silicon film 3 with a thickness of 50 nm is formed by the plasma excitation type chemical vapor deposition (PE-CVD).

[0011] As shown in Fig. 1 (B), a polycrystal silicon film 3a is obtained by irradiating XeCl excimer laser to the amorphous silicon film 3 to polycrystallize in the atmospheric air. The beam cross-sectional configuration of the excimer laser is band-like form with a width of 1.2 mm. and the time width (pulse width) per shot is 40 ns. This band-like irradiation region is

moved in the orientation which intersects perpendicularly with the major axis for every shot, and the whole surface of the substrate is scanned. An irradiation region is moved so that the rate of the fraction overlapped (rate of overlap) the irradiation region of a certain shot with the irradiation region of the following shot may become about 92 to 99 % of the irradiation region of one shot. The energy density of excimer laser is 300 to 500 mJ/cm<sup>2</sup>, for example.

[0012] The projection 4 in alignment with the grain boundary is formed on the surface of polycrystal silicon film 3a. The average irregularity of the surface (RMS) measured with the atomic force microscope (AFM) was about 14 nm. Moreover, the projection of the height of the amorphous silicon film 3 exceeding 50 nm in thickness was also observed.

[0013] Moreover, since it was heat-treated in the atmosphere in which oxygen exists, the surface of polycrystal silicon film 3a are oxidized to form a silicon oxide film 5.

[0014] As shown in Fig. 1 (C), the silicon oxide film 5 is removed with the etching reagent of fluoric acid system. The surface of a polycrystal silicon film 3a is exposed. The average irregularity of the surface of the polycrystal silicon film 3a after removing the silicon oxide film 5 was about 12 nm. In addition, a silicon oxide film may be removed by dry-etching with fluorine system gas.

[0015] A process until it results in the status of Fig. 1 (D) is explained. After removing a silicon oxide film 5, a substrate is quickly set in a vacuum device and evacuated until the pressure is set to  $1 \times 10^{-7}$  Torr. Heat treatment is performed at the temperature of 550 degrees C for two hours. The average irregularity of the surface of the polycrystal silicon film 3a after heat treatment was about 6 nm.

[0016] As mentioned above, after removing the silicon oxide film 5, the average irregularity of the surface of the polycrystal silicon film 5a can be made small by performing heat treatment for flattening. In addition, it had a little effect of flattening in the case of performing heat treatment for flattening without removing the silicon oxide film 5 performed at the process shown in Fig. 1 (C). It is considered that a movement of the silicon atom seldom happens during heat treatment in the case of covering the surface of the polycrystal silicon film with the silicon oxide film. Although the substrate was quickly set in the vacuum devices after removing the silicon oxide film 5 in the above-mentioned embodiment, it is more desirable to perform heat treatment for flattening without exposing to the atmospheric air.

[0017] In the above-mentioned embodiment, the heat treatment for flattening was performed on the conditions with pressure  $1 \times 10^{-7}$  Torr, temperature 550 degrees C. When the pressure at this heat treatment was set to  $1 \times 10^{-5}$  Torr, the flattening hardly progressed at the temperature 550 degrees C. When temperature was raised to 580 degrees C on the conditions of pressure  $1 \times 10^{-5}$  Torr, the flattening equivalent to the case of the first embodiment could be performed.

[0018] In the above-mentioned first embodiment, the heat treatment for flattening explained in Fig. 1 (D) was performed in the vacuum devices. When the lamp heating method was applied instead of heat treatment by the vacuum devices, the average irregularity of the surface was reduced although there were few amounts of reductions of the irregularity.

[0019] Next, a method of forming a polycrystal silicon film according to the second embodiment is explained. As the above-mentioned first embodiment explained, the average

irregularity of the surface of the polycrystal silicon film 3a immediately after polycrystalizing shown in Fig. 1 (B) was about 12 nm, and the average irregularity of the surface of the polycrystal silicon film 3a immediately after removing the silicon oxide film 5 shown in Fig. 1 (B) was about 10 nm. Thus, the average irregularity of the surface becomes a little smaller only by removing the silicon oxide film 5. It is considered that the neighborhood of the point of the projection is so easily oxidized that the silicon oxide film in the part becomes thicker than in the other part. In the second embodiment, this phenomenon is used positively. [0020] In the first embodiment, after forming the silicon oxide film 5 shown in Fig. 1 (B), the silicon oxide film 5 was removed at the process shown in Fig. 1 (C). In the second embodiment, after polycrystalizing shown in Fig. 1 (B), the surface of polycrystal silicon film 3a is positively oxidized. This oxidation is performed, for example, by exposing the surface of the polycrystal silicon film 5 to oxygen plasma. At this time, it is thought that the neighborhood of the point of the projection 4 is preferentially oxidized.

[0021] After oxygen plasma treatment, the silicon oxide film is removed by dry etching with  $\text{CHF}_3$ . In addition, the silicon oxide film may be removed by wet etching with the etchant of fluoric acid system in the same way as removing the silicon oxide film of the first embodiment. After then, heat treatment for the same flattening as the process of Fig. 1 (D) of the first embodiment is performed.

[0022] The average irregularity of the surface of the polycrystal silicon film formed by the method of the second embodiment was about 5 nm. Compared with the case of the first embodiment, it turns out that average irregularity of the surface becomes smaller.

[0023] In the case of forming TFT by using a polycrystal silicon film, the polycrystal silicon film is patterned to band-like form with a width of a few  $\mu\text{m}$ , for example. When the silicon film (with the average irregularity of the surface of 12 nm) polycrystalized by excimer laser radiation was patterned to band-like form with a width of 3  $\mu\text{m}$ , the edge of the silicon pattern became notched. This notch prevents TFT from getting detailed. Moreover, the irregularity of the surface of the silicon film affects the etching property, and easily produces an etch residue. On the other hand, the edge became smooth when the polycrystal silicon film formed by the method of the second embodiment was patterned to band-like form with a width of 3  $\mu\text{m}$ . Thus, it become possible to make TFT detailed.

[0024] In the above-mentioned first embodiment, as explained in the process of Fig. 1 (B), an amorphous silicon film was polycrystalized by excimer laser radiation. There is little average irregularity of the surface of the silicon film polycrystalized by heat-treating in vacuum devices instead of laser radiation compared with the average irregularity of the surface of the silicon film polycrystalized by laser radiation. The average irregularity of the surface of the polycrystalized silicon film was about 4 nm by heat-treating in vacuum devices. Also in this case, it was found out that the average irregularity of the surface was decreased by removing a silicon oxide film performed at the process shown in Fig. 1 (C) of the first embodiment and by performing heat treatment for the flattening performed at the process shown in Fig. 1 (D).

[0025] For example, when the amorphous silicon film was formed on the quartz substrate and the silicon film polycrystalized with high temperature heat treatment of about 600 degrees C was flattened, the average irregularity of the surface became about 3.8 nm. Moreover, when

the amorphous silicon film including nickel was formed on the glass substrate and the silicon film polycrystallized with low temperature heat treatment of about 550 degrees C was flattened, the average irregularity of the surface became about 3.5 nm.

[0026] Next, with reference to Fig. 1 and Fig. 2, a method of forming a polycrystal silicon film according to the third embodiment of this invention is explained. In the above-mentioned first example, a silicon film was polycrystallized by performing laser radiation in the atmospheric air as explained in the process of Fig. 1 (B), and the surface of the polycrystal silicon film was flattened by heating a substrate in vacuum devices as explained in the process of Fig. 1 (D). In the third embodiment, not only polycrystallizing process but also flattening process are performed by laser radiation. That is, laser radiation (first laser radiation) is performed in order to polycrystallize the amorphous silicon, and next, laser radiation (second laser radiation) is performed in order to flatten the polycrystal silicon film.

[0027] Compared the manufacturing process of a semiconductor device according to the third embodiment with the manufacturing process according to the first embodiment, it is common to the extent of the process of removing the silicon oxide film 5 explained in Fig. 1 (C) of the first embodiment. In the third embodiment, a polycrystal silicon film 3a shown in Fig. 1 (C) is flattened by irradiating excimer laser. In addition, second laser radiation was performed on the conditions of a  $1 \times 10^{-1}$  Pa pressure, and 95 % of the rate of overlap. Moreover, after removing the silicon oxide film 5 shown in Fig. 1 (B), it is desirable to perform second laser radiation without exposing a substrate to the atmospheric air.

[0028] With reference to Fig. 2, the condition of the first laser radiation is explained. The horizontal axis of Fig. 2 shows the laser energy density of the first laser radiation with a unit  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ , and the vertical axis shows the average irregularity of the surface with a unit nm.

[0029] The black dot in Fig. 2 shows the average irregularity of the surface of the polycrystal silicon film polycrystallized by irradiating XeCl excimer laser on the conditions of the pulse width for 40 ns, the width of a band-like irradiation region for 1.2 mm, and 96 % of the rate of overlap. The white ring in the figure shows the average irregularity of the surface of the polycrystal silicon film obtained by performing laser radiation in vacuum of  $1 \times 10^{-3}$  Pa pressure.

[0030] In the case of performing laser radiation in the atmospheric air, when the energy density is  $400 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ , the average irregularity of the surface becomes the maximum to the extent of the value of about 12 nm. On the other hand, in the case of performing laser radiation in vacuum, the average irregularity of the surface is 5 nm or less. Observing the both by the scanning electron microscope, the average diameter of crystal grain of the silicon film performed laser radiation in the atmospheric air was about  $0.5 \text{ }\mu\text{m}$  while the average diameter of crystal grain of the silicon film performed laser radiation in vacuum was  $0.25 \text{ }\mu\text{m}$  or less. The projection of the surface of the silicon film performed laser radiation in the atmospheric air was formed along with the grain boundary.

[0031] Although a polycrystal silicon film with small average irregularity of the surface is obtained by performing the first laser radiation in vacuum, this film has a small average diameter of crystal grain. It is difficult to obtain TFT with sufficient property by the silicon film with small average diameter of crystal grain.

[0032] In Fig. 3, the average irregularity of the surface of the polycrystal silicon film formed by the method of the third embodiment is shown, compared with the example of reference. The horizontal axis of Fig. 3 shows the laser energy density with a unit  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ , and the vertical axis shows the average irregularity of the surface with a unit nm. A white quadrilateral in figure shows the average irregularity of the surface of the polycrystal silicon film formed by the method of the third embodiment. A black quadrilateral shows the case of performing the second laser radiation without removing the silicon oxide film 5 shown in Fig. 1. The laser energy density of the horizontal axis is equivalent to the energy density of the second laser radiation. In addition, the energy density of the first laser radiation is  $400 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ .

[0033] The broken line indicated in Fig. 3 shows the average irregularity of the surface expressed with the black dot of Fig. 2. The horizontal axis in this case is equivalent to the energy density of the first laser radiation.

[0034] When the second laser radiation was performed without removing a silicon oxide film, as a black quadrilateral showed, the reduction of the average irregularity of the surface was hardly seen in the range that the laser energy density was  $400 \text{ mJ}/\text{cm}^2$  or less. In the range that the laser energy density was  $400 \text{ mJ}/\text{cm}^2$  or more, although the reduction of the average irregularity of the surface was seen, the average irregularity of the surface of the obtained polycrystal silicon film was equivalent to the case where only laser radiation for polycrystalizing was performed by the energy density of  $400 \text{ mJ}/\text{cm}^2$  or more.

[0035] On the other hand, in the case of the third embodiment, as shown by a white quadrilateral, the reduction of the average irregularity of the surface was seen by the second laser radiation. Especially, when the energy density of the second laser radiation was set to 400 to  $480 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ , the average irregularity of the surface becomes 4 nm or less. This is the same grade as the average irregularity of the surface of the silicon film polycrystalized by the solid phase growth by heating with vacuum furnace.

[0036] The polycrystal silicon film formed by the method of the third embodiment was analyzed by the scanning electron microscope. It turns out that the diameter of crystal grain of the polycrystal silicon film formed by the method of the third embodiment was the same grade as the diameter of crystal grain after the first laser radiation or was more expanded. Moreover, the projection formed along with the grain boundary had almost disappeared.

[0037] The first laser radiation is preferably carried out with the energy density to make the average irregularity of the surface larger. At this time, a polycrystal silicon film with large diameter of crystal grain is obtained. For example, the first laser radiation is preferably carried out on the conditions that the average irregularity of the surface becomes 5 nm or more. Moreover, the second laser radiation is preferably carried out with the larger energy density than of the first laser radiation. Thereby, the reduction effect of the average irregularity of the surface of a polycrystal silicon film can be raised. In addition, if the energy density of the second laser radiation is made high too much, microcrystalization of a silicon film will be accelerated. For this reason, it is desirable to make the energy density below the threshold to microcrystalize. Moreover, you may heat a substrate at the time of the second laser radiation. Heating a substrate can raise the quality of a crystal.

[0038] In the third embodiment, although the rate of overlap of the second laser radiation was

set to 95 %, other rates of overlap may be set. According to the experiments of inventors of this application, it turned out that there were little effects on flattening when the rate of overlap was less than 90 %. Therefore, it is desirable to set the rate of overlap of the second laser radiation to 90 % or more. In addition, when the rate of overlap cannot be set to 90 % or more because of constraint of equipment, the same effect as the case of 90 % of the rate of overlap could be substantially acquired by irradiating two shots to the same part and by moving an irradiation region so as to set the rate of overlap to 80 %.

[0039] In the third embodiment, although the pressure in the ambient atmosphere of the second laser radiation was set to  $1 \times 10^{-1}$  Pa, other pressures may be set.

[0040] Fig. 4 shows a relation between the pressure in the ambient atmosphere of the second laser radiation and the average irregularity of the surface of a polycrystal silicon film. The horizontal axis of Fig. 4 shows the pressure with a unit Pa, and the vertical axis shows the average irregularity of the surface with a unit nm. If pressure is lowered from atmospheric pressure to  $1 \times 10^4$  Pa, the average irregularity of the surface will become small abruptly. Moreover, in the range from  $1 \times 10^4$  Pa to  $1 \times 10^{-1}$  Pa, the average irregularity of the surface becomes small slowly as pressure is lowered. If pressure is set to  $1 \times 10^{-1}$  Pa or less, the average irregularity of the surface will be easily lowered.

[0041] From Fig. 4, it is desirable to set pressure of the second laser radiation to  $1 \times 10^4$  Pa or less, and it is more desirable to set to  $1 \times 10^{-1}$  Pa or less.

[0042] In addition, the second laser radiation may be performed in the ambient atmosphere of inert gas, for example, in the ambient atmosphere of nitrogen gas. In this case, before filling nitrogen gas in a vacuum vessel having a substrate therein, it is desirable to evacuate to the pressure of  $1 \times 10^4$  Pa or less, and it is more desirable to evacuate to the pressure of  $1 \times 10^{-1}$  Pa or less.

[0043] Moreover, this result shows that the flattening of a polycrystal silicon film can be performed by making the pressure of the second laser radiation lower than the pressure of the first laser radiation. That is, the pressure of the first laser radiation may be set to  $1 \times 10^2$  Pa, and also the pressure of the second laser radiation may be set to  $1 \times 10^{-3}$  Pa. It is considered that the fall of pressure causes an oxygen partial pressure to fall.

[0044] That is, it is considered what is important is not the total pressure of laser radiation but the oxygen partial pressure in the ambient atmosphere of laser radiation or the amount of oxygen supplied to per unit area of the surface of a silicon film. In other words, making the oxygen partial pressure of the second laser radiation or the amount of oxygen supplied to per unit area of the surface of a silicon film less than that of the first laser radiation enables the surface of a silicon film to flatten.

[0045] The case, where it is evacuated to  $1 \times 10^{-3}$  Pa to replace with nitrogen so as to set to the pressure of  $1 \times 10^5$  Pa after performing the first laser radiation in the ambient atmosphere with pressure of  $1 \times 10^{-2}$  Pa, is considered. At this time, the atmospheric pressure of the second laser radiation becomes higher than that of the first laser radiation. However, as for an oxygen partial pressure, that of the second laser radiation is lower than that of the first laser radiation. For this reason, it becomes possible to perform the flattening of a silicon film.

[0046] Next, the case, where the silicon oxide film is formed on the surface of a silicon film at the time of the first laser radiation, is considered. The pressure of the first laser radiation

may be set to  $1 \times 10^{-3}$  Pa, and also the pressure of the second laser radiation may be set to  $1 \times 10^{-1}$  Pa. As for an oxygen partial pressure, that of the second laser radiation is higher than that of the first laser radiation. However, since a silicon oxide film is formed on the surface of the silicon film at the time of the first laser radiation, as for the amount of oxygen supplied to per unit area of the surface of a silicon film, that of the second laser radiation is lower than that of the first laser radiation. For this reason, it becomes possible to perform the flattening of a silicon film.

[0047] After removing the silicon oxide film, the effect of flattening was not seen in the case of performing the second laser radiation in the atmospheric air. This shows that it is desirable to perform the second laser radiation in a non-oxidizing atmosphere.

[0048] Next, a manufacturing method of a polycrystal silicon film according to the fourth embodiment is explained. In the above-mentioned third embodiment, a polycrystal silicon film with large average diameter of crystal grain was formed by performing the first laser radiation in the atmospheric air. It is thought that the average diameter of crystal grain becomes larger than the case of performing the first laser radiation because the surface of the silicon film is covered with the oxide film or because of an influence of the oxygen in the atmospheric air.

[0049] In the case of performing the first laser radiation in the atmospheric air, the status of the silicon oxide film of the surface of the silicon film may be changed according to the atmosphere at the time of laser radiation, for example humidity and atmospheric temperature, and furthermore, the status of the polycrystal silicon film to be formed, for example the diameter of crystal grain etc., may be also changed. In the fourth embodiment, a method of forming a polycrystal silicon film seldom influenced by the atmosphere of the first laser radiation is offered.

[0050] Hereafter, the fourth embodiment is explained, comparing with the method of forming a polycrystal silicon film according to the first embodiment with reference to Fig. 1. After forming the amorphous silicon film 3 shown in Fig. 1 (A), a silicon oxide film on the surface is removed. A silicon oxide film with a fixed thickness is formed on the surface of the amorphous silicon film 3 after removing the silicon oxide film. A silicon oxide film can be formed by a method of heat-treating in the oxygen atmosphere, a method of irradiating ultraviolet rays, a method of exposing to oxygen plasma, and a method of depositing silicon oxide films by the chemical vapor deposition (CVD) or sputtering, etc.

[0051] After forming a silicon oxide film on the surface of the amorphous silicon film, the first laser radiation is performed to polycrystallize the amorphous silicon film. The first laser radiation is performed in vacuum or in inert gas. A polycrystal silicon film 3a shown in Fig. 1 (B) is formed. The processes after this are the same as that of the case of the above-mentioned third embodiment.

[0052] Fig. 5 shows the degree of crystallinity in the case of changing the thickness of the silicon oxide film formed on the surface of the amorphous silicon film 3 as a function of the energy density of the first laser radiation. The horizontal axis shows the energy density with a unit  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ , and the vertical axis shows the degree of crystallinity with a unit %. The degree of crystallinity was evaluated by the height of the peak of the reflected light which appeared in the position with a wavelength of 280 nm at the time of irradiating ultraviolet

rays at a silicon film. In addition, the height of the peak in measuring a single crystal silicon wafer was set to 100 % of the degree of crystallinity. A white ring in drawing shows the case of not forming a silicon oxide film, and a black dot and a black quadrilateral show the cases where the thicknesses of silicon oxide films are 1 nm and 10 nm, respectively.

[0053] If the laser energy density exceeds  $340 \text{ mJ/cm}^2$  when the thickness of the oxide film is 10 nm, the degree of crystallinity will fall abruptly. For this reason, it is desirable to make the silicon oxide film formed on the surface of the amorphous silicon film thinner than 10 nm in thickness.

[0054] In the fourth embodiment, before the first laser radiation, the surface of the amorphous silicon film is covered with the silicon oxide film. For this reason, the quality of the polycrystal silicon film is hardly influenced of the atmosphere of the first laser radiation.

[0055] In the fourth embodiment, although the silicon oxide film was formed before performing the first laser radiation, the quality of the polycrystal silicon film could be stabilized also by controlling the atmosphere of the first laser radiation instead of forming a silicon oxide film before laser radiation. For example, laser radiation may be performed, controlling the flow rate of oxygen gas after removing the silicon oxide film formed on the surface of an amorphous silicon film to arrange a substrate in the vacuum vessel. Moreover, oxygen gas and inert gas may be passed, controlling both of the flow rates.

[0056] Moreover, when the first laser radiation was performed, heating a substrate in inert gas, the polycrystal silicon film having the same crystal grain diameter as the case of the fourth embodiment could be formed. This is considered because a vacuum vessel is heated by heating a substrate to emit moisture and oxygen which absorbed with the wall of the vacuum vessel into the vessel, or because the diameter of crystal grain became large according to the effect of heating a substrate.

[0057] In the above first to fourth embodiments, although the energy density of the first laser radiation was set to  $400 \text{ mJ/cm}^2$ , as long as there are the conditions where the degree of crystallinity becomes large, the laser with other energy densities may be irradiated. For example, the suitable energy density of the first laser radiation ranges  $360 \text{ mJ/cm}^2$  or more. In addition, if the energy density is made high too much, it will be microcrystallized while the degree of crystallinity becomes high. Since the damage may remain in the silicon film according to microcrystallization, it is desirable to set the energy density to below the threshold which produces microcrystallization. According to the experiments of inventors of this application, microcrystallization arose when the energy density was set to more than  $450 \text{ mJ/cm}^2$ . In addition, the suitable laser energy density changes with the pulse width of the laser to use, a beam profile, and substrate heating etc.

[0058] In the above-mentioned third embodiment, the rate of overlap at the time of the first laser radiation was set to 95 %. In irradiating at one place of the surface of the silicon film for more than one hundred times, the surface of the film will become rougher and receive more damage to the film. For this reason, it is desirable to set the rate of overlap of the first laser radiation to 99 % or less. In addition, at the time of the second laser radiation, the silicon film did not receive damage in the case of the rate of overlap for 99 % or more.

[0059] Next, a method of manufacturing TFT by using a polycrystal silicon film manufactured by the method of the above first to fourth embodiments is explained.

[0060] As shown in Fig. 6 (A), an  $\text{SiO}_2$  film 2 with a thickness of 200 nm and a polycrystal silicon film 3a with a thickness of 50 nm are formed on the surface of a glass substrate 1. The manufacturing processes till this process are the same as the manufacturing processes shown in Figs. 1 (A) to (D). The polycrystal silicon film 3a is formed by any one of the methods of the first to fourth embodiments.

[0061] As shown in Fig. 6 (B), the silicon film 3a is patterned to leave an active region 3c of a polycrystal silicon thin film. The polycrystal silicon film is etched by reactive ion etching (RIE) with the mixed gas of  $\text{CF}_4$  and  $\text{O}_2$ . A gate insulating film 14 with a thickness of 120 nm comprising  $\text{SiO}_2$  is formed on  $\text{SiO}_2$  film 2 so as to cover the active region 3c. The gate insulating film 14 is formed by the plasma excitation type chemical vapor deposition (PE-CVD) with  $\text{SiH}_4$  and  $\text{N}_2\text{O}$ .

[0062] Among the surfaces of the gate insulating film 14, a gate electrode 15 with a thickness of 300 nm comprising AlSi alloy is formed on a part of region upper active region 3c. The Si concentration of the gate electrode 15 is 0.2 % of the weight. Deposition of AlSi alloy film is performed by sputtering and etching of AlSi alloy film is performed by using the etchant of phosphoric-acid system.

[0063] As shown in Fig. 7 (A), the gate insulating film 14 is patterned to leave a gate insulating film 14a. Etching of the gate insulating film 14 is performed by RIE using the mixed gas of  $\text{CHF}_3$  and  $\text{O}_2$ . The gate insulating film 14a juts out into the both sides of the gate electrode 15 by about 1  $\mu\text{m}$ . The active region 3c juts out into the both sides of the gate insulating film 14a.

[0064] In Fig. 7 (A), although the positions of the gate electrode 15 and the gate insulating film 14a are doubled by using usual photolithography technique, you may double both positions self-matchingly. For example, a jutting part of the gate insulating film 14a can be formed self-matchingly by using the anodic oxidation of an aluminum gate electrode, as disclosed in JP 8-332602.

[0065] Phosphorus ion is doped into the part jutting out over the both sides of the gate insulating film 14a among the active region 3c by the ion doping method. This ion doping is performed on the conditions on which phosphorus ion is not doped into the part covered by the gate insulating film 14a.

[0066] As shown in Fig. 7 (B), the second phosphorus ion is doped in by the ion doping method. This ion doping is performed on the conditions which phosphorus ion reaches to the lower part of the part jutting out over the both sides of the gate electrode 15 among the gate insulating film 14a. Excimer laser annealing is performed to activate the doped P. A source low concentration region 11S and a drain low concentration region 11D are formed underneath the part jutting out over the both sides of the gate electrode 15 among the gate insulating film 14a. Furthermore, in the outside, a source high concentration region 10S and a drain high concentration region 10D are formed.

[0067] Fig. 8 shows the cross section of the active matrix liquid crystal display which applied TFT shown in Fig. 7 (B). A  $\text{SiO}_2$  film 2 is formed on a glass substrate 1, and TFT 20 is formed on the surface.

[0068] A  $\text{SiO}_2$  film 30 with a thickness of 400 nm is formed on the  $\text{SiO}_2$  film 2 so as to cover TFT 20. The  $\text{SiO}_2$  film 30 is formed by PE-CVD, for example. The contact holes 31 and 32

are formed in the position corresponding to a drain high concentration region 10D and a source high concentration region 10S, of the SiO<sub>2</sub> film 30, respectively. The contact holes 31 and 32 are formed by RIE which used the mixed gas of CHF<sub>3</sub> and O<sub>2</sub>.

[0069] The drain bus line 33 is formed on the surface of the SiO<sub>2</sub> film 30. The drain bus line 33 is connected to the drain high concentration region 10D via the inside of the contact hole 31. The drain bus line 33 has the two-layer structure of Ti film with a thickness of 50 nm and AlSi alloy film with a thickness of 200 nm.

[0070] The connection electrode 34 is formed in the position corresponding to the contact hole 32 on the surface of the SiO<sub>2</sub> film 30. The connection electrode 34 is connected to a source high concentration region 10S.

[0071] On the SiO<sub>2</sub> film 30, the SiN film 35 is formed so as to cover the drain bus line 33 and the connection electrode 34. On the surface of the SiN film 35, the pixel electrode 36 comprising indium tin oxide (ITO) is formed. The pixel electrode 36 is connected to the connection electrode 34 through the contact hole formed in the SiN film 35. On the SiN film 35, an orientation film 37 is formed so as to cover the pixel electrode 36.

[0072] An opposite substrate 40 is arranged so as to counter the glass substrate 1. On the opposite side of the opposite substrate 40, the common electrode 41 comprising ITO is formed. A shading film 42 is formed in the predetermined region to shade on the surface of the common electrode 41. On the surface of the common electrode 41, an orientation film 43 is formed so as to cover the shading film 42. A liquid crystal material 50 is filled up with between the two sheets of orientation films 37 and 43.

[0073] Since the active region 3c of TFT 20 is a polycrystal silicon film formed by the methods of the first to fourth embodiments, the average irregularity of the surface is small. For this reason, while it makes TFT 20 more minute, it prevents the gate insulating film from dielectric breakdown by concentration of the electric field.

[0074] Although this invention was explained in accordance with the examples above, this invention is not restricted to these. For example, the same trades will obviously understand that various change, enhancement, combination, etc. are possible.

[0075]

[Effect of the Invention] As explained above, according to this invention, it is enabled to form a polycrystal silicon film with the small average irregularity of the surface. A TFT with high reliability and minuteness can be formed by using this polycrystal silicon film.

#### [Brief Description of the Drawings]

[Fig. 1] is a cross section of the substrate for explanation of a method of forming a polycrystal silicon film according to the example of this invention.

[Fig. 2] is a graph which shows the average irregularity of the surface of the polycrystal silicon film polycrystallized by laser radiation as a function of laser energy density.

[Fig. 3] is a graph which shows the average irregularity of the surface of the polycrystal silicon film formed by a method of the third embodiment and by a method of the comparative example as a function of laser energy density at the time of the second laser radiation.

[Fig. 4] is a graph which shows the average irregularity of the surface of the polycrystal silicon film formed by a method of the third embodiment as a function of the pressure in the

ambient atmosphere at the time of the second laser radiation.

[Fig. 5] is a graph which shows the average irregularity of the surface of the polycrystal silicon film in the case of changing the thickness of the silicon oxide film on the amorphous silicon film formed at the time of forming the polycrystal silicon film according to the fourth embodiment as a function of energy density at the time of the first laser radiation.

[Fig. 6] is a cross section of a substrate for explanation of a method of forming a TFT by using the polycrystal silicon films formed by the methods of the first to fourth embodiments.

[Fig. 7] is a cross section of a substrate for explanation of a method of forming a TFT by using the polycrystal silicon films formed by the methods of the first to fourth embodiments.

[Fig. 8] is a cross section of a LCD using a TFT which applied the polycrystal silicon film formed by the methods of the first to fourth embodiments.

[Description of Notations]

1	glass substrate
2	SiO <sub>2</sub> film
3	amorphous silicon film
3a	polycrystal silicon film
3c	active region
4	projection
5	silicon oxide film
10D	drain high concentration region
10S	source high concentration region
11D	drain low concentration region
11S	source low concentration region
14	gate insulating film
15	gate electrode
20	TFT
30	SiO <sub>2</sub> film
31, 32	contact hole
33	drain bus line
34	connection electrode
35	SiN layer
36	pixel electrode
37, 43	orientation layer
40	counter electrode
41	common electrode
42	shading film
50	liquid crystal material